

KOROSI

- Istilah korosi menurut pengertian sehari-hari diartikan sebagai istilah peristiwa **pengkaratan** pada logam. Secara luas korosi dapat didefinisikan sebagai kerusakan bahan oleh lingkungan sekitarnya dibawah reaksi kimia, hal ini dapat memberi arti bahwa korosi dapat berlangsung pada logam maupun bukan logam. Bahan logam seperti Ferous dan non-ferous, sedang bahan non logam misalnya plastic (polimer), keramik, komposit dan lain-lain.



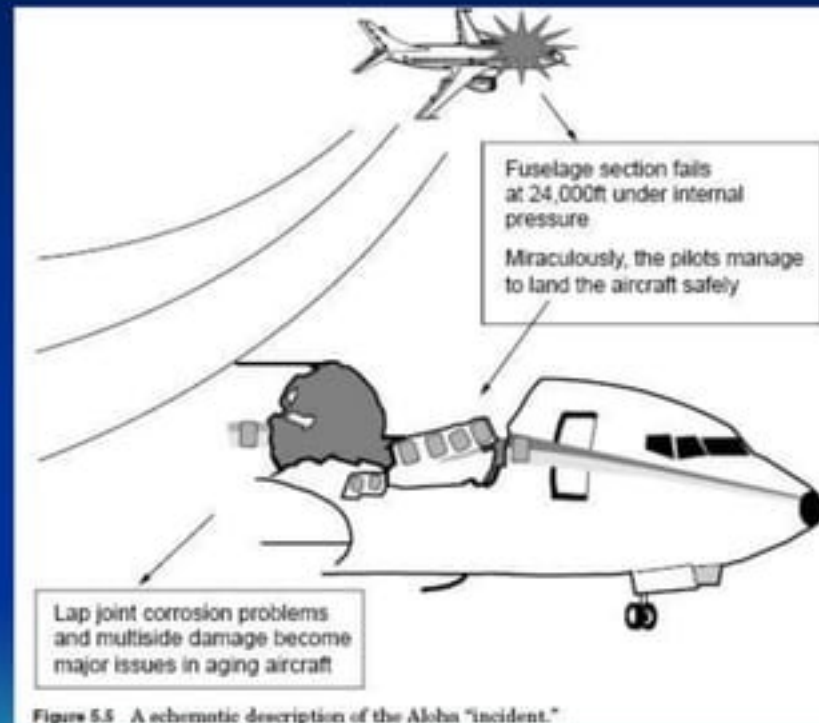
Masalah Korosi

Masalah korosi
menyentuh hampir
seluruh
benda/bangunan
logam, bagian
terbesar dalam
bidang industri ($\pm$
15% bahan
kontruksi besi
harus diganti per
tahun



Akibat Korosi

- Korosi mengakibatkan material/logam tersebut mengalami degradasi atau penurunan mutu kualitas yang secara fisik material tersebut menjadi berwarna coklat/karat yang efeknya strengthen dari material tersebut juga menurun.
- Sekedar ilustrasi, Tidak jarang bis malam atau truk pengangkut barang kehilangan kendali karena rem blong akibat pipa hidrolis bocor terserang korosi. Kapal yang sarat penumpang tenggelam karena plat-plat bocor terserang korosi, Pesawat gagal mendarat karena "landing gear" tidak berfungsi akibat sistem hidrolisnya bocor.



Bagaimana korosi menyerang ?

A. Pada permukaan

sifatnya : tdk berbahaya tetapi jelek dilihat



B. Menyerang ke dalam

Sifatnya : merusak struktur, berbahaya



Hal-hal yang hrs dipertimbangkan dlm pemilihan bahan konstruksi :

1. Sifat-sifat Mekanik,

Berbagai sifat mekanis tersebut antara lain meliputi : kekuatan (strength), kekenyalan (elasticity), kekakuan (stiffness), plastisitas (plasticity), ketangguhan (toughness), dan kelelahan (fatigue).



- 2. **Sifat fisik,**

seperti bentuk dan dimensi, titik leleh, density konduktivitas dan lain-lain.

- 3. **Sifat Kimia,**

seperti sifat ketahanan terhadap serangan korosi aktivitas terhadap bahan kimia tertentu, dan lain-lain

4. **Faktor-faktor lain,**

seperti availability dari bahan, teknologi yang tersedia dan berbagai factor ekonomis



Berbagai bentuk kerusakan korosi :

1. Uniform corrosion (korosi merata)
2. Pitting corrosion (korosi lokal/sumur)
3. Galvanic corrosion (korosi galvanik)
4. Erosion corrosion (korosi erosi)
5. Stress corrosion (korosi tegang)
6. Intergranular (korosi antar kristal)
7. High temperature corrosion (korosi temperatur tinggi)



Form of Corrosion

Group I: identifiable by visual inspection



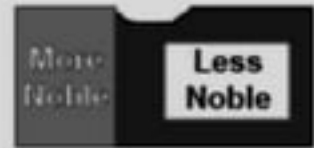
Uniform Corrosion



Pitting

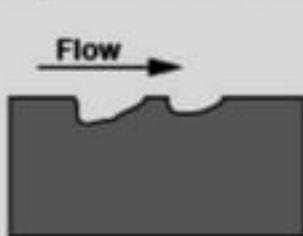


Crevice Corrosion



Galvanic Corrosion

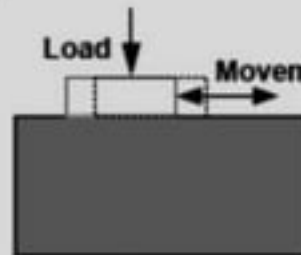
Group II: identifiable with special inspection tools



Erosion



Cavitation



Fretting



Intergranular

Group III: identifiable by microscopic examination



Exfoliation



De-Alloying



Stress Corrosion
Cracking



Corrosion Fatigue

Faktor-faktor Penyebab Korosi :

1. Faktor Logam

meliputi komposisi kimia yang membentuk logam dan berbagai tegangan yang terdapat pada logam tersebut

- Besi mudah berkarat
- Emas, perak, platina tdk berkarat disebut logam mulia

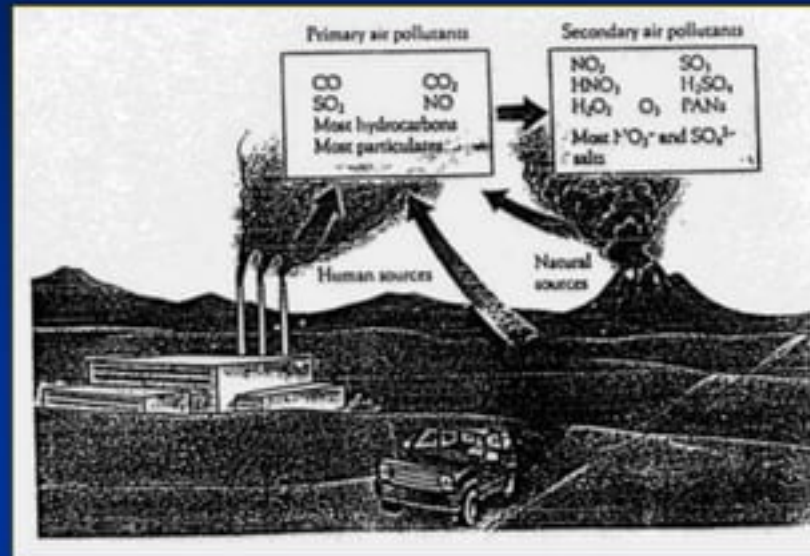


Faktor-faktor Penyebab Korosi :

2. Faktor Lingkungan

meliputi kondisi lingkungan yang mencakup konsentrasi elektrolit, pH larutan, temperature, kelembaban, potensial listrik, inhibitor, dan lain-lain.

Faktor utama penyebab korosi adalah O_2 dan air. Faktor-faktor lain yg memperparah korosi adalah asam, garam, CO_2 , debu, SO_2 , dan lain-lain.



air

corrosion

sel

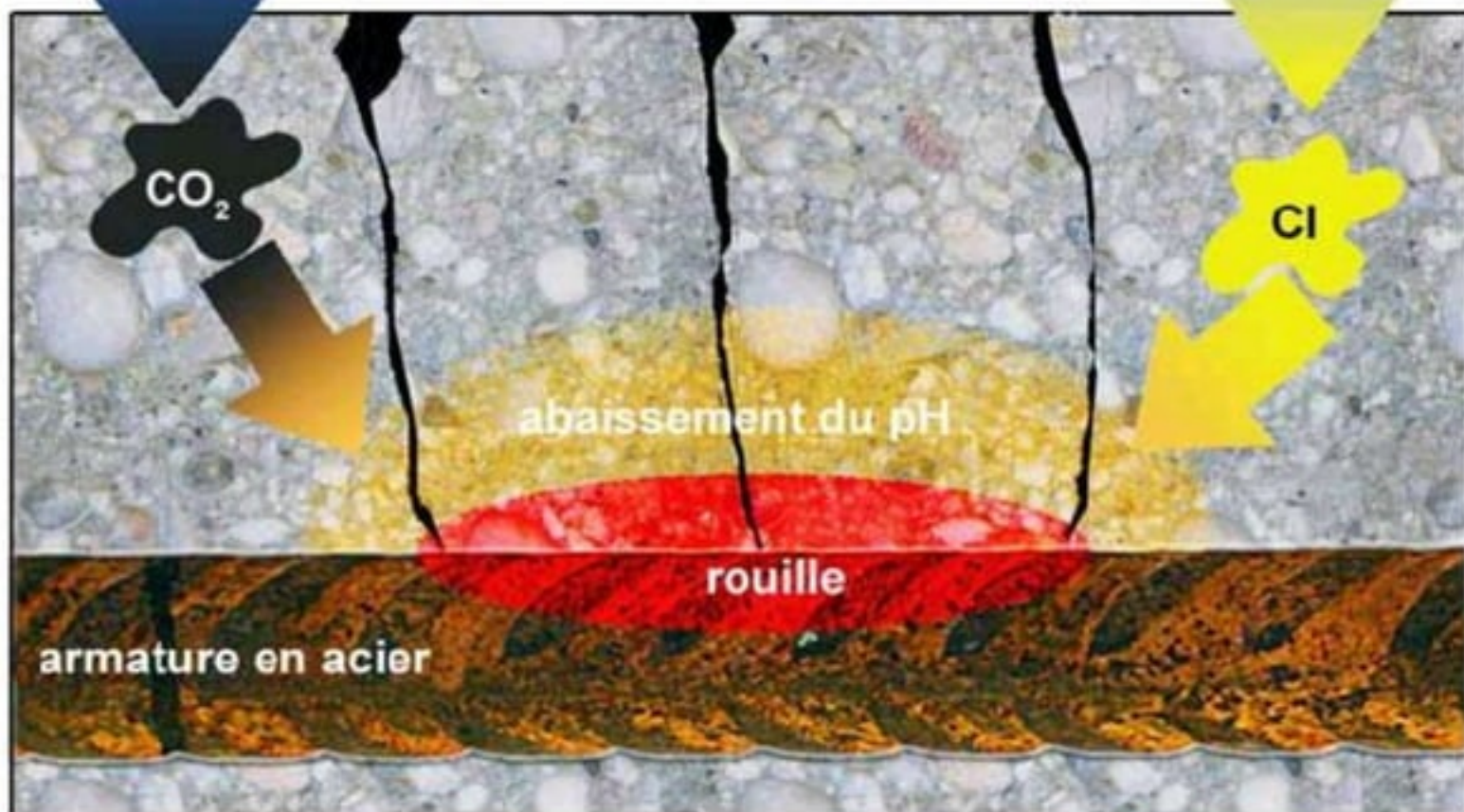
CO_2

Cl

abaissement du pH

rouille

armature en acier



Bagaimana Korosi Terjadi ?

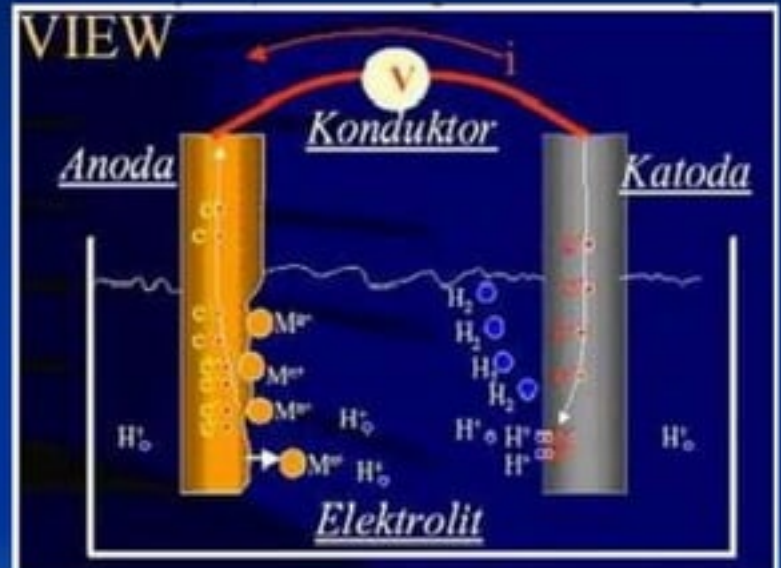
Korosi terjadi bila ada 4 faktor yang saling melengkapi :

1. **anoda** : di mana **reaksi oksidasi** (korosi) terjadi dan arus mengalir ke lingkungan.
2. **katoda** : Di mana **reaksi reduksi** terjadi.
3. **Elektrolit (Ionic Current Path)** : pembawa arus (jembatan arus) antar anoda dan katoda
4. **Transfer elektron (Electronic Path) / Hubungan Listrik** : arus (antara katoda dan anoda) melewati metal (logam), untuk melengkapi sirkuit.

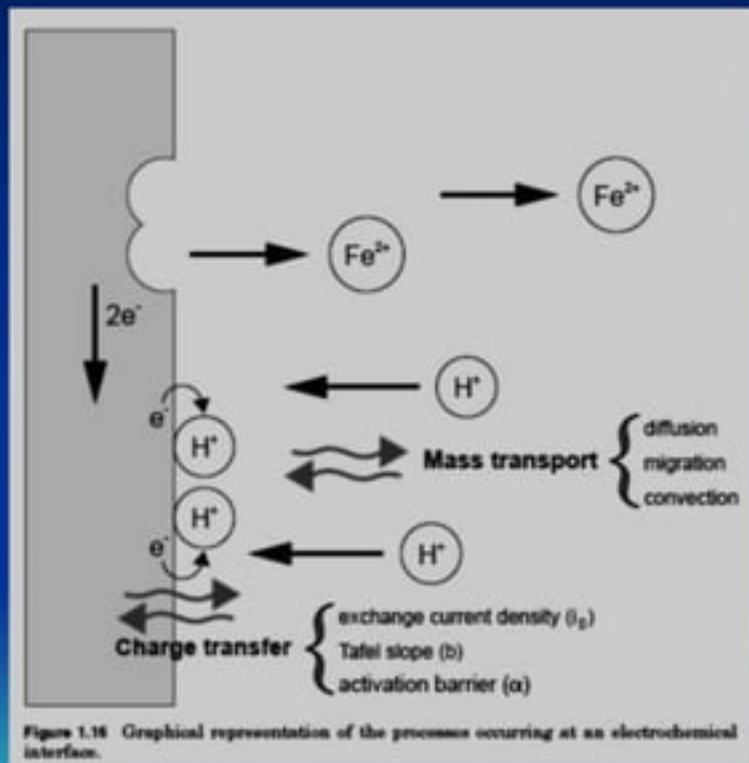
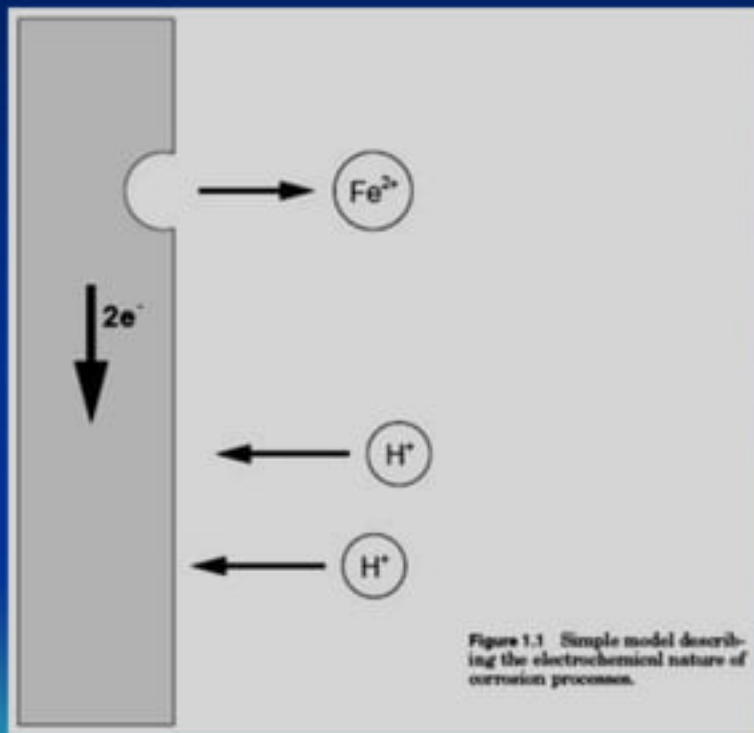


Proses Korosi

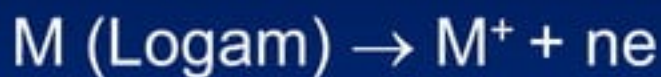
Katoda adalah logam yang relatif lebih mulia, yang permukaannya menjadi tempat berlangsungnya reaksi reduksi. Anoda adalah logam yang relatif lebih aktif, yang menjadi pemasok elektron bagi reaksi reduksi, sehingga terkorosi. Konduktor adalah sarana untuk transfer elektron dari anoda kekatoda. Elektrolit adalah media yang mengandung zat-zat yang korosif seperti H^+ dan O_2 yang cenderung tereduksi, disamping menjadi tempat bagi zat lain yang dapat mengakselerasi korosi seperti Cl^- .



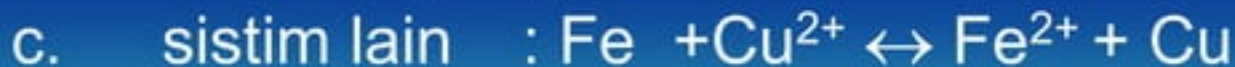
Proses Korosi



Reaksi korosi :



Contoh lain, misalnya logam besi berkontak dengan larutan pada berbagai suasana :



Reaksi umum proses korosi :

1. $2 \text{Fe} + \text{O}_2 + 4 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$
2. $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2 + \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{Fe}(\text{OH})\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$
3. $2 \text{Fe}(\text{OH})\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Fe}(\text{OH})_3 + 2 \text{CO}_2$
4. $\text{Fe}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (Karat)



warna kuning coklat

Konsep Dasar

- Bila suatu logam berada dalam suatu lingkungan, ada tiga kemungkinan bisa terjadi yaitu **Imun**, **Aktif**, dan **Pasif**.
 1. **Imun / Nobel / Mulia** = Tidak terjadi apa-apa : Logam berada dalam kondisi imun terhadap lingkungan korosif.
 2. **Aktif** = Terjadi reaksi korosi : Logam berada dalam kondisi aktif terhadap lingkungan (korosif)-nya.
 3. **Pasif** = Terbentuk lapisan film di permukaan logam : Logam dalam kondisi pasif di lingkungan korosif karena terbentuk lapisan pasif di permukaan logam yang melindungi logam dari serangan korosi (lingkungan korosif di sekitarnya).



Karakteristik Reaksi : Imun, Aktif, dan Pasif

1. **Imun : Nobel / Mulia :**

- Tidak terjadi reaksi
- Tidak terjadi korosi
- Tidak ada pengurangan berat

2. **Ter(korosi) : Aktif**

- Logam mengalami pelarutan
- Tidak terbentuk lapisan film protektif
- Pengurangan berat yang terjadi tinggi

3. **Ter(korosi) : Pasif**

- Reaksi yang terjadi pelan
- Terbentuk lapisan film protektif (pasif) di permukaan logam / metal
- Pengurangan berat yang terjadi rendah

Contoh Logam yang membentuk lapisan pasif di permukaan :

Stainless steel (paduan besi dengan nikel, dan chrom),

Paduan aluminium,

Titanium



Potensial Standard & Deret Volta

Table 16.1 The Standard emf Series

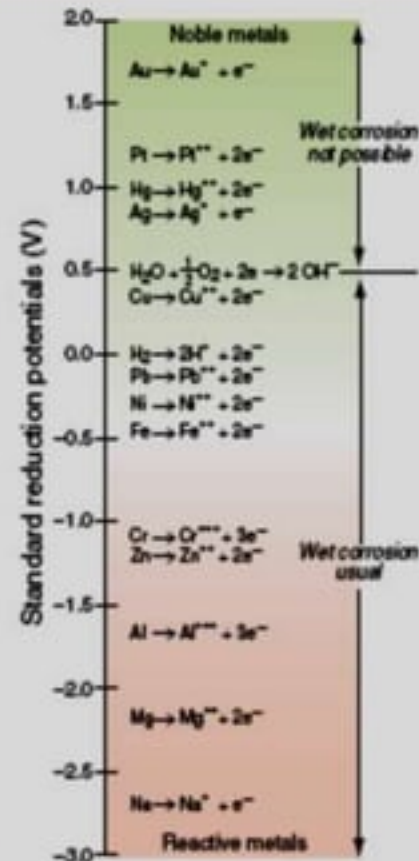
Electrode Reaction	Standard Electrode Potential, V° (V)
$\text{Au}^{3+} + 3e^- \longrightarrow \text{Au}$	+1.420
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^- \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	+1.229
$\text{Pt}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Pt}$	~+1.2
$\text{Ag}^+ + e^- \longrightarrow \text{Ag}$	+0.800
$\text{Fe}^{3+} + e^- \longrightarrow \text{Fe}^{2+}$	+0.771
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- \longrightarrow 4(\text{OH}^-)$	+0.401
$\text{Cu}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Cu}$	+0.340
$2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2$	0.000
$\text{Pb}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Pb}$	-0.126
$\text{Sn}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Sn}$	-0.136
$\text{Ni}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Ni}$	-0.250
$\text{Co}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Co}$	-0.277
$\text{Cd}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Cd}$	-0.403
$\text{Fe}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Fe}$	-0.440
$\text{Cr}^{3+} + 3e^- \longrightarrow \text{Cr}$	-0.744
$\text{Zn}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Zn}$	-0.763
$\text{Al}^{3+} + 3e^- \longrightarrow \text{Al}$	-1.662
$\text{Mg}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Mg}$	-2.363
$\text{Na}^+ + e^- \longrightarrow \text{Na}$	-2.714
$\text{K}^+ + e^- \longrightarrow \text{K}$	-2.924

Increasingly inert
(cathodic)

Increasingly active
(anodic)

Deret Volta :

K - Ba - Ca - Na - Mg - Al - Mn - Zn - Cr - Fe - Cd - Ni
- Sn - Pb - (H) - Cu - Hg - Ag - Pt - Au



Thermodynamics Drive Corrosion

Standard Electromotive Series

<u>reaction</u>	<u>standard electrode potential</u>
$\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Au}$	+1.420
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + \text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	+1.420
$\text{Pt}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pt}$	+1.2
$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$	+0.800
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	+0.340
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	0.000
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}$	-0.126
$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$	-0.136
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}$	-0.250
$\text{Co}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Co}$	-0.277
$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cd}$	-0.403
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	-0.440
$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$	-0.744
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$	-0.763
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}$	-1.662
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mg}$	-2.363
$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}$	-2.714
$\text{K}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{K}$	-2.924

$\Delta V = 0.153 \text{ V}$

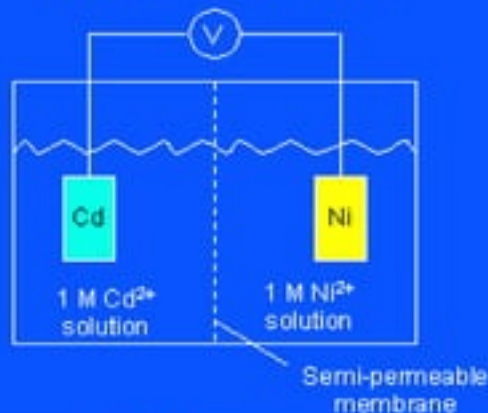
← For metals and ions in their standard states (1 mole/liter ion concentration)

Can use to determine tendency for reaction to occur - direction of reaction:

Electrochemical Cell Voltage

$$\Delta V = V_{\text{Ni}}^0 - V_{\text{Cd}}^0 = 0.153 \text{ V}$$

Since $\Delta V > 0$, Cd corrodes:



Deret Volta

Deret Volta :

**K - Ba - Ca - Na - Mg - Al - Mn - Zn - Cr - Fe - Cd - Ni - Sn - Pb -
(H) - Cu - Hg - Ag - Pt - Au**

Menurut Volta, semakin ke kiri pada deret tersebut maka semakin mudah elemen tersebut mengalami Oksidasi. Sebaliknya semakin ke kanan, maka semakin sulit teroksidasi.

Pengkorosian atau pengkaratan termasuk salah satu jenis oksidasi pada logam.

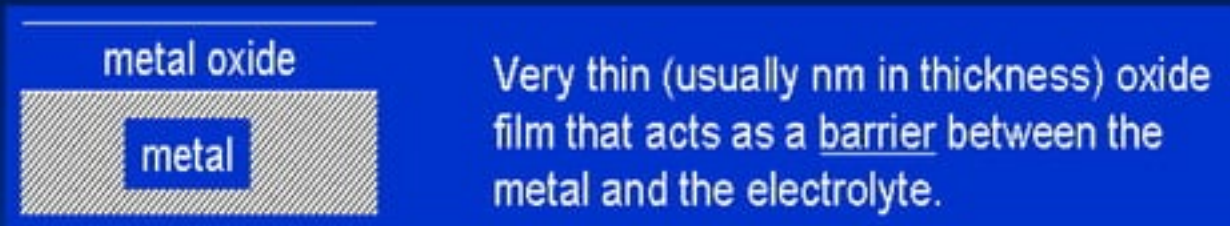
Berdasarkan deret volta di atas, kita mengetahui bahwa emas (Aurum / Au) terdapat pada deret yang paling kanan.

Sehingga energi yang dibutuhkan emas untuk mengalami oksidasi adalah besar. Karena "kebesaran" energi inilah yang membuat emas sulit melakukan oksidasi atau pengkaratan.

logam yang anti korosi berdasarkan kereaktifannya (dalam deret volta) adalah logam mulia saja yaitu selain emas adalah platina, tembaga, dan perak.



Lapisan Pasif (Passivity)



Deret Volta :

K - Ba - Ca - Na - Mg - Al - Mn - Zn - Cr - Fe - Cd - Ni - Sn - Pb - (H) - Cu - Hg - Ag - Pt - Au

Ada beberapa logam lain yang dalam deret volta termasuk kategori logam yang aktif (terletak di sebelah kiri atom H dalam deret volta) tetapi tahan karat, seperti : aluminium, timah, seng, nikel, krom dan lain-lainnya. Mengapa demikian ?

Bila logam tersebut kontak dengan udara akan segera bereaksi dengan oksigen yang ada di udara membentuk senyawa oksidanya. Senyawa oksida yang terbentuk itu menempel / menutupi permukaan logam tersebut dan lapisan oksida yang terbentuk itu tidak tembus oleh udara, hal ini yang menyebabkan kontak dengan udara tidak berlangsung dan korosi tidak terjadi

Mengapa Stainless Steel Tidak Berkarat ?

Stainless steel dapat bertahan dari serangan karat berkat interaksi bahan-bahan campurannya dengan alam. Stainless steel terdiri dari besi, krom, mangan, silikon, karbon dan seringkali nikel and molibdenum dalam jumlah yang cukup banyak.

Elemen-elemen ini bereaksi dengan oksigen yang ada di air dan udara membentuk sebuah lapisan yang sangat tipis dan stabil yang mengandung produk dari proses karat/korosi yaitu metal oksida dan hidroksida. Krom, bereaksi dengan oksigen, memegang peranan penting dalam pembentukan lapisan korosi ini (lapisan pasif). Pada kenyataannya, semua stainless steel mengandung paling sedikit 10% krom.

Keberadaan lapisan korosi yang tipis ini mencegah proses korosi berikutnya dengan berlaku sebagai tembok yang menghalangi oksigen dan air bersentuhan dengan permukaan logam. Hanya beberapa lapisan atom saja cukup untuk mengurangi kecepatan proses karat selambat mungkin karena lapisan korosi tersebut terbentuk dengan sangat rapat. Lapisan korosi ini lebih tipis dari panjang gelombang cahaya sehingga tidak mungkin untuk melihatnya tanpa bantuan instrumen moderen.

Besi biasa, berbeda dengan stainless steel, permukaannya tidak dilindungi apapun sehingga mudah bereaksi dengan oksigen dan membentuk lapisan Fe_2O_3 atau hidroksida yang terus menerus bertambah seiring dengan berjalannya waktu. Lapisan korosi ini makin lama makin menebal dan kita kenal sebagai karat

Stainless steel



Prinsip Mencegah Korosi

Reaksi elektrokimia adalah reaksi yang melibatkan elektron, dan elektron mengalir dari anoda ke katoda. Bila salah satu dari keempat faktor (anoda, katoda, jembatan arus, transfer elektron) di atas tidak ada (dihilangkan), maka korosi tidak akan terjadi.

Bagaimana Bila Salah Satu Faktor Dihilangkan?

1. **Menghilangkan Anoda** : Tidak akan ada reaksi oksidasi, sehingga korosi tidak terjadi.
2. **Menghilangkan Katoda** : Tidak ada reaksi reduksi, sehingga korosi juga tidak terjadi.
3. **Menghilangkan elektrolit / jembatan arus** : Tidak ada arus mengalir lewat lintasan ion, sehingga korosi tidak terjadi. Misalnya menghilangkan adanya air.
4. **Menghilangkan transfer elektron** : elektron diisolasi sehingga tidak dapat mengalir dari anoda ke katoda; sehingga korosi tidak terjadi. Misalnya dengan memberikan coating / mengecat permukaan logam.



Pencegahan Korosi

1. Pemilihan material : menggunakan material yang lebih tahan korosi.
2. Coatings : memberi lapisan pelindung yang tahan korosi pada permukaan material.
3. Perlakuan khusus pada lingkungan : menambah inhibitor, menghilangkan elemen-elemen yang bersifat korosif (misalnya : air).
4. Mengubah Potensial : Proteksi Anodik / Katodik.
5. Memperbaiki desain : Stress Relieving, dll.



Pencegahan Korosi

1. Memilih material yang tahan korosi atau memodifikasi Sifat Logam

a. Alloying

Baja + Ni + Cr $\rightarrow$ stainless steel

Baja + Mo $\rightarrow$ tahan pitting korosi

Baja + Si $\rightarrow$ tahan asam

b. Refining

Menghilangkan kandung belerang dan carbon pada baja



Pencegahan Korosi

2. Lapisan Pelindung (Protective Coating)

Prinsip : melindungi logam dari lingkungannya,
Ada dua macam :

a. Logam

Dicelup, disepuh (elektroplating),
disemprot atau dibungkus.

b. Non Logam

Permanen : Email, Resin, Dicat

Tdk permanen : minyak, lemak, oli



Pencegahan Korosi

3. Modifikasi Lingkungan

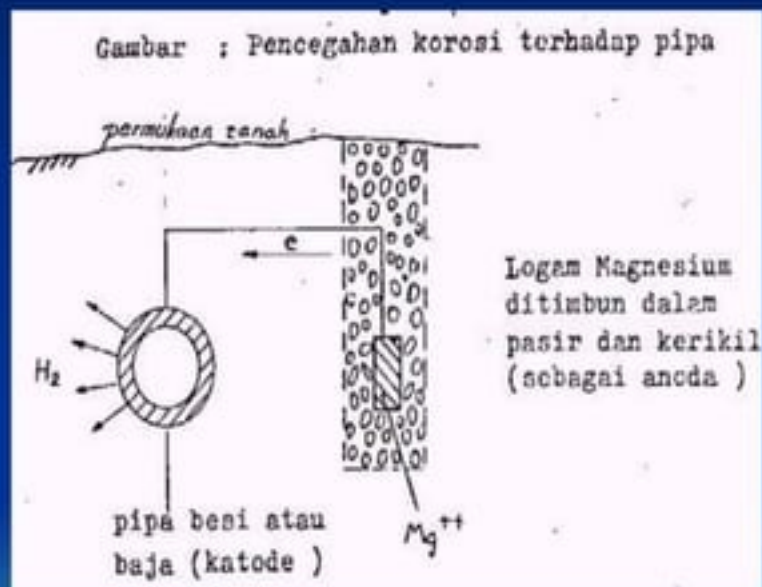
- Menghilangkan semua senyawa yang merangsang terjadinya korosi : O_2 , asam, garam, uap air, debu
- Memberi inhibitor : bahan dlm jumlah kecil ditambahkan pada lingkungan sekitar logam akan menurunkan kecepatan korosi



Pencegahan Korosi

4. Proteksi Katodik (Anoda Korban)

Bahan yg akan dilindungi dihubungkan dengan logam lain yg lebih elektronegatif sebagai korban. Cocok utk pipa baja dalam laut atau tanah



Pencegahan Korosi

5. Memperbaiki Desain Peralatan

Menghindari bentuk peralatan dengan profil U, T, L yang menyebabkan air terakumulasi pada sudut-sudut sehingga menjadi korosi



Manfaat Penanggulangan Korosi :

Korosi merupakan masalah teknis dan ilmiah yang serius. Di negara-negara maju sekalipun, masalah ini secara ilmiah belum tuntas terjawab hingga saat ini. Selain merupakan masalah ilmu permukaan yang merupakan kajian dan perlu ditangani secara fisika, korosi juga menyangkut kinetika reaksi yang menjadi wilayah kajian para ahli kimia. Korosi juga menjadi masalah ekonomi karena menyangkut umur, penyusutan dan efisiensi pemakaian suatu bahan maupun peralatan dalam kegiatan industri. Milyaran Dolar AS telah dibelanjakan setiap tahunnya untuk merawat jembatan, peralatan perkantoran, kendaraan bermotor, mesin-mesin industri serta peralatan elektronik lainnya agar umur konstruksinya dapat bertahan lebih lama. Manfaat penanggulangan korosi adalah :

1. Mengurangi cost akibat terjadinya korosi : meriview dan melaksanakan rencana-rencana untuk mengurangi cost.
2. Mengurangi resiko akibat kegagalan : memberikan aspek-aspek safety, menganalisa bentuk-bentuk kegagalan.
3. Develop New Markets : Untuk Corrosion Control product dan services.



Corrosion Rate Determination

Corrosion rates are expressed in a variety of ways -- perhaps the most common expression is in mils of penetration per year (mpy) which is typically determined via the following equation:

$$\text{mpy} = 534 W / (DAT)$$

where:

W = weight loss in mg

D = density in grams/cm³

A = surface area of specimen in in²

T = time in hours

Corrosion Rates

<1 mpy (25 $\mu\text{m}/\text{yr}$)

outstanding

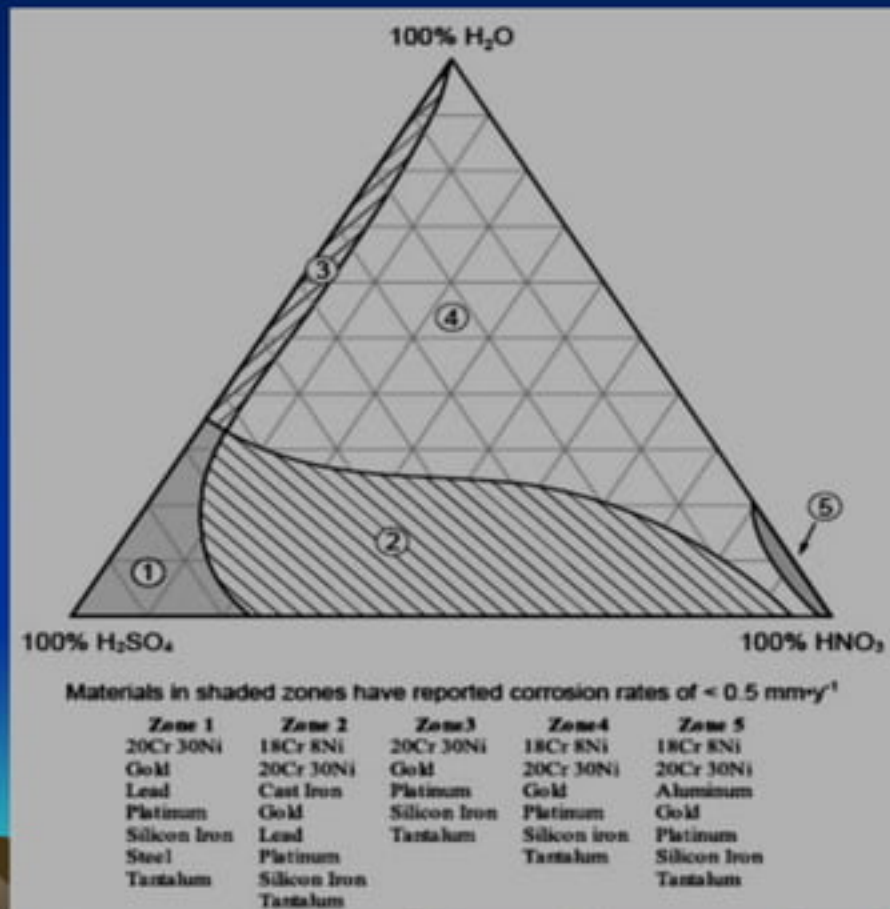
20 to 50 mpy (500-1000 $\mu\text{m}/\text{yr}$)

fair

50 to 200 mpy (1000-5000 $\mu\text{m}/\text{yr}$)

poor

Laju Korosi Lingkungan Asam



Merancang Tebal Tangki

Ketentuan menghitung tebal tangki bertekanan : Rumus : $t = \frac{PR}{SE - 0,6P} + C$

t = tebal tangki (in) S = allowable stress (psia)

P = tekanan operasi (psia) E = factor sambungan

R = jari-jari tangki (in) C = factor korosi (in)

Contoh : Direncanakan akan dibuat tangki berisi gas metana dengan tekanan operasi 9 atm, dengan diameter = 2,6 m. Bahan tangki menggunakan baja carbon steel 285 grade C dengan allowable stress 13750 psia. Jika efisiensi sambungan E = 0,8, factor korosi 1/8 in.

Hitung tebal tangki ? Diketahui : 1 in = 2,54 cm, 1 atm = 14,7 psia

Jawab : P operasi = 9 atm = 132,3 psia ; R = D/2 = 2,6/2 = 1,3 m = 130 cm = 51,2 in ;

C = 1/8 in = 0,125 in

$$t = \frac{(132,3)(51,2)}{13750(0,8) - 0,6(132,3)} + 0,125 = 0,745 \text{ in} = 1,89 \text{ cm} \approx 2 \text{ cm}$$

Tangki tersebut agar aman digunakan gunakan tebal 2 cm, jika T < 2 cm, tangki akan meledak.

Pipe Size Selection

Pipe Size Selection :

Pipa Carbon Steel : $d_{opt} = 282 G^{0.52} \rho^{-0.37}$

Pipa Stainless Steel : $d_{opt} = 226 G^{0.5} \rho^{-0.35}$

d_{opt} (dalam mm) ; G (dalam kg/s) ; ρ (dalam kg/m³)

Example :

Estimate the optimum pipe diameter for water flow rate 10 kg/s, at 20°C.
Carbon steel will used. Density of water 1000 kg/m³

$$d_{opt} = 282 (10)^{0.52} (1000)^{-0.37} = 72,5 \text{ mm}$$

Masukan ke dalam salah satu pabrik memerlukan tangki pencampur berikut.

Tentukan

- (a) bahan pipa (CS atau SS) dan alasannya;
(b) diameter optimum untuk aliran 1, 2, dan 3

Data:

Densitas Aliran 1 = 1000 kg/m³
 Aliran 2 = 1310 kg/m³
 Aliran 3 = 1115 kg/m³

Perhatikan ukuran standar pipa.

